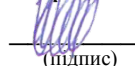


Міністерство освіти і науки України  
Національний аерокосмічний університет ім. М. Є. Жуковського  
«Харківський авіаційний інститут»

Кафедра вищої математики та системного аналізу (№ 405)

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

Керівник проектної групи

  
(підпис)

О. Г. Ніколаєв  
(ініціали та прізвище)

« 01 » 09 2020 р.

**СИЛАБУС ОБОВ'ЯЗКОВОЇ  
НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ**

**МОДЕЛЮВАННЯ СКЛАДНИХ СИСТЕМ**

(назва навчальної дисципліни)

Галузь знань: **12 «Інформаційні технології»**  
(шифр і найменування галузі знань)

Спеціальність: **124 «Системний аналіз»**  
(код та найменування спеціальності)

Освітня програма: **«Системний аналіз і управління»**  
(найменування освітньої програми)

**Форма навчання: денна**

**Рівень вищої освіти: перший (бакалаврський)**

**Харків 2020 рік**

Силабус «Моделювання складних систем» для студентів за спеціальністю  
(назва дисципліни)  
124 «Системний аналіз» освітньою програмою «Системний аналіз і управління»  
« 09 » червня 2020 р. – 12 с.

Розробник: Кузніченко В.М. доцент кафедри вищої математики та  
(прізвище та ініціали, посада, науковий ступінь та вчене звання)  
системного аналізу, к.фіз.-мат.н., доцент

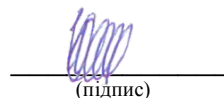


(підпис)

Силабус розглянуто на засіданні кафедри вищої математики та  
(назва кафедри)  
системного аналізу

Протокол № 11 від «26» червня 2020 р.

Завідувач кафедри: д.фіз.-мат.н, професор  
(науковий ступінь та вчене звання)



(підпис)

О.Г.Ніколаєв  
(ініціали та прізвище)

## **Опис навчальної дисципліни**

**Галузь знань:** 12 «Інформаційні технології»

**Спеціальність:** 124 «Системний аналіз»

**Освітня програма:** «Системний аналіз і управління»

**Рівень вищої освіти:** перший (бакалаврський)

**Форма навчання:** денна

**Семестр, в якому викладається дисципліна:** 6-й

**Дисципліна:** обов'язкова

**Загальна кількість годин/ кредитів за навчальним планом:** 180 годин/ 6 кредити ЄКТС. З них 60 годин/ 2 кредити ЄКТС – курсова робота.

**Види занять:** лекції, лабораторні та практичні заняття

**Вид контролю:** іспит, диф. залік.

### **2. Мета та завдання навчальної дисципліни**

**Мета вивчення:** у засвоєнні основних положень, методів і засобів моделювання складних систем та застосуванні їх на практиці.

**Завдання:** вивчення дисципліни «Моделювання складних систем» полягає у відпрацюванні основних понять, методів та прийомів моделювання систем.

Згідно з вимогами освітньо-професійної програми студенти повинні набути таких **компетентностей:**

#### **інтегральна:**

здатність розв'язувати складні спеціалізовані задачі та практичні проблеми системного аналізу у професійній діяльності або в процесі навчання, що передбачають застосування теоретичних положень та методів системного аналізу та інформаційних технологій і характеризується комплексністю та невизначеністю умов.

#### **Загальні:**

- Здатність до абстрактного мислення, аналізу та синтезу (ЗК 1);
- Здатність застосовувати знання у практичних ситуаціях (ЗК 2);
- Знання та розуміння предметної області та розуміння професійної діяльності (ЗК4);
- Здатність спілкуватися державною мовою усно і письмово (ЗК5);
- Здатність до пошуку, оброблення та аналізу інформації з різних джерел (ЗК 7);
- Здатність генерувати нові ідеї (креативність) (ЗК11);
- Здатність оцінювати та забезпечувати якість виконаних робіт (ЗК 14);

#### **Фахові:**

- Здатність використовувати системний аналіз як сучасну міждисциплінарну методологію, що базується на прикладних математичних методах та сучасних інформаційних технологіях і орієнтована на вирішення задач аналізу і синтезу технічних, економічних, соціальних, екологічних та інших складних систем (ФК 1);
- Здатність формалізувати проблеми, описані природною мовою, у тому числі за допомогою математичних методів, застосовувати загальні підходи до математичного моделювання конкретних процесів (ФК 2);

- Здатність будувати математично-коректні моделі статичних та динамічних процесів і систем із зосередженими та розподіленими параметрами із врахуванням невизначеності зовнішніх та внутрішніх факторів (ФК 3);
- Здатність визначати основні чинники, які впливають на розвиток фізичних, економічних, соціальних процесів, відокремлювати в них стохастичні та невизначені показники, формулювати їх у вигляді випадкових або нечітких величин, векторів, процесів та досліджувати залежності між ними (ФК 4);
- Здатність до комп'ютерної реалізації математичних моделей реальних систем і процесів; проектувати, застосовувати і супроводжувати програмні засоби моделювання, прийняття рішень, оптимізації, обробки інформації, інтелектуального аналізу даних (ФК 6);
- Здатність використовувати сучасні інформаційні технології для комп'ютерної реалізації математичних моделей та прогнозування поведінки конкретних систем, а саме: об'єктно-орієнтований підхід при проектуванні складних систем різної природи, прикладні математичні пакети, застосування баз даних і знань, використання моделей алгоритмічних обчислень, оцінювання їх ефективності та складності для адекватного моделювання предметних областей (ФК 7);
- Здатність представляти математичні аргументи і висновки з них з якістю і точністю і в таких формах, які підходять для аудиторії як усно так і в письмовій формі (ФК 9);
- Здатність розробляти експериментальні та спостережувальні дослідження і аналізувати дані, отримані в них (ФК 10);
- Здатність опанувати сучасні технології математичного моделювання об'єктів, процесів і явищ, використовуючи обчислювальні моделі та алгоритми чисельного розв'язання задач математичного моделювання з урахуванням похибок наближеного чисельного розв'язання (ФК12);
- Здатність оцінювати моделі алгоритмічних обчислень їх ефективність та складність для адекватного моделювання предметних областей (ФК13).

#### **Очікувані програмні результати навчання:**

- Знати і вміти застосовувати на практиці диференціальне та інтегральне числення, ряди та інтеграл Фур'є, векторну та лінійну алгебру, аналітичну геометрію та векторний аналіз, функціональний аналіз та дискретну математику в обсязі, необхідному для вирішення типових завдань системного аналізу (ПРН 1).
- Вміти визначати ймовірнісні розподіли стохастичних показників та факторів, що впливають на характеристики досліджуваних процесів, досліджувати властивості та знаходити характеристики багатовимірних випадкових векторів, використовувати їх для розв'язання прикладних задач, формалізувати стохастичні показники та фактори у вигляді випадкових величин, векторів, процесів (ПРН 3).

- Знати та вміти використовувати базові методи якісного аналізу та інтегрування звичайних диференціальних рівнянь і систем, диференціальних рівнянь у частинних похідних, в тому числі рівнянь математичної фізики (ПРН 4).
- Вміти створювати ефективні алгоритми для обчислювальних задач системного аналізу та систем підтримки прийняття рішень (ПРН 9).
- Застосовувати методи і засоби роботи з даними і знаннями, методи математичного, логіко – семантичного, об'єктного та імітаційного моделювання, технології системного і статистичного аналізу (ПРН 12).
- Розуміти і застосовувати на практиці методи статистичного моделювання та програмування, оцінювати вихідні дані (ПРН 14).

**Міждисциплінарні зв'язки:** «математичний аналіз», «алгебра та геометрія», «теорія ймовірностей та математична статистика», «диференціальні рівняння», «методи оптимізації та дослідження операцій», «аналіз даних», звичайні та у частинних похідних диференціальні рівняння.

### **3. Програма навчальної дисципліни**

#### **Модуль 1**

**Змістовий модуль 1. Загальні поняття теорії систем, моделювання та мови моделювання**

##### **Тема 1. Вступ до теорії систем і моделювання.**

Основні поняття теорії систем: система, елемент, підсистема, зв'язок, цільове призначення, декомпозиція, структура, стан, рівновага, еволюція, розвиток, управління, поведінка. Класифікація систем: матеріальні та ідеальні, природні та штучні, технічні, ергодічні, соціальні, відкриті та замкнуті, детерміновані та стохастичні, прості, великі, складні. Ознаки складних систем. Основні типи структур систем. Типи ієрархічних систем. Приклади. Означення моделі та моделювання, класифікація моделей: матеріальні і абстрактні, натурні, фізичні, аналогові, концептуальні, математичні, аналітичні, чисельні, аналітико-чисельні, комп'ютерні, дискретні та неперервні, скінченний автомат, стаціонарні, нестаціонарні, динамічні, лінійні та нелінійні, скінченновимірні та нескінченновимірні.

Кількість годин на тему – 4, з них лекції – 2, практичні заняття – 0, лабораторних занять – 0, самостійна робота – 2

##### **Тема 2. Основні підходи до моделювання систем**

Основні підходи до моделювання систем, їх сутність: структурний, функціональний, концептуальний, ймовірнісний, алгебраїчний. Етапи моделювання: постановка задачі і визначення цілей моделювання; збір, обробка і аналіз даних; дослідження властивостей системи, розробка концептуальної моделі, вибір структури моделі, вибір моделі з певного класу моделей або створення нової моделі, ідентифікація параметрів моделі, створення алгоритмів під програмну реалізацію моделі, програмна реалізація моделі, комп'ютерний експеримент, перевірка адекватності моделі, встановлення області адекватності моделі, аналіз результатів моделювання.

Кількість годин на тему – 6, з них лекції – 2, практичні заняття – 0, лабораторних занять – 0, самостійна робота – 4.

### **Тема 3. Уніфікована мова моделювання**

Об'єктно-орієнтоване моделювання. Основні принципи: абстрагування, обмеження доступу, модульність, ієрархія, типізація, стійкість. Етапи розробки програмних систем: аналіз предметної області, об'єктна декомпозиція систем, діаграма об'єктів, діаграма класів, модулі класів. Методологія розробки класів. Успадкування і поліморфізм. Уніфікована мова моделювання UML.

Кількість годин на тему – 6, з них лекції – 2, практичні заняття – 0, лабораторних занять – 0, самостійна робота – 4.

### **Змістовий модуль 2. Математичне моделювання.**

#### **Тема 4. Аналітичні методи моделювання складних систем**

Матричні балансові моделі. Модель «Випуск - затрати» Леонтьєва, модель обміну. Оптимізаційні задачі лінійного програмування. Двоїста задача лінійного програмування. Транспортна задача. Задачі цілочисельного програмування. Задачі теорії ігор з нульовою сумою. Зведення задач теорії ігор з нульовою сумою до задач лінійного програмування. Задачі динамічного програмування. Моделювання процесів теплообміну. Визначення розподілу температури в стержні методом кінцевих елементів. Визначення розподілу температури в області зі складною геометрією методом кінцевих елементів.

Визначення розподілу напружень в області зі складною геометрією методом кінцевих елементів.

Кількість годин на тему – 44, з них лекції – 10, практичні заняття – 0, лабораторних занять – 20, самостійна робота – 14.

**Модульний контроль** – 2 години.

#### **Тема 5. Побудова моделей по даним експерименту**

Пасивний експеримент. Лінійні та нелінійні моделі парної та множинної регресії. Метод найменших квадратів. F та t тести перевірки моделі і її коефіцієнтів на адекватність. Мультиколінеарність. Перевірка залишків регресії на гомоскедастичність та гетероскедастичність. Кореляційний та дисперсійний аналіз побудованих моделей. Активний експеримент. Повний факторний експеримент. Дробовий факторний експеримент. Експерименти на основі планів другого порядку.

Кількість годин на тему – 22, з них лекції – 6, практичні заняття – 0, лабораторних занять – 6, самостійна робота – 10.

### **Модуль 2**

#### **Змістовий модуль 3. Комп'ютерне моделювання.**

#### **Тема 6. Статистичне та імітаційне моделювання складних систем**

Статистичне забезпечення імітаційного моделювання. Метод Монте-Карло. Засоби організації модельного часу. Перевірка адекватності моделі. Планування модельного експерименту. Обробка результатів модельного експерименту. Аналіз результатів моделювання. Моделювання одиночної події. Моделювання повної групи несумісних подій. Моделювання складних незалежних подій. Моделювання складних залежних подій.

Сутність імітаційного моделювання. Етапи створення імітаційної моделі. Динаміка імітаційної моделі. Основні парадигми побудови імітаційних моделей. Означення системної динаміки. Поточкові діаграми системної динаміки та їх підсистеми. Концепція системної динаміки Структура моделі системної динаміки. Предметна область застосування системної динаміки. Дискретно-подійне моделювання. Парадигма мережевого моделювання. Транзакції і блоки. Структура моделі. Предметна область застосування дискретно-подійного моделювання. Мультиагентне моделювання. Означення агента і мультиагентної моделі. Взаємодія агентів між собою і з оточуючим середовищем. Структура агентних моделей. Предметна область застосування мультиагентного моделювання. Технології розробки комп'ютерних моделей. Структурний і модульний підходи, їх особливості.

Огляд сучасних інформаційних технологій для моделювання складних систем. Пакет AnyLogic. Загальне знайомство з пакетом. Створення моделі. Об'єкти, редагування об'єктів. Неперервні змінні і параметри моделі. Функціональна залежність між змінними. Моделювання за допомогою диференціальних рівнянь. Запуск моделі, створення графіків і фазових діаграм. Анімація моделі. Динамічні характеристики графічних об'єктів. Управління модельним часом. Співвідношення між фізичним і модельним часом. Лічильник дискретного часу. Дискретно-подійне моделювання в AnyLogic. Події. Таймери. Стейтчарти. Застосування до систем масового обслуговування. Бібліотека Enterprise Library.

Кількість годин на тему – 26, з них лекції – 6, практичні заняття – 0, лабораторних занять – 2, самостійна робота – 18.

#### **Тема 7.**

Інтелектуальна модель, нечітка модель, інформаційна модель. Означення нечіткої моделі. Структура, основні елементи і операції в нечітких моделях. Основні властивості нечітких моделей. Повнота нечіткої моделі. Нечіткі системи та нечіткий логічний вихід: модель Мамдані, модель Такагі-Сугено.

Кількість годин на тему – 8, з них лекції – 4, практичні заняття – 0, лабораторних занять – 0, самостійна робота – 4.

**Модульний контроль** – 2 години.

### **Змістовний модуль 4. Курсова робота з моделювання складних систем**

**Тема 8. Комплексне моделювання системи з використанням імітаційного моделювання в ПП AnyLogic.**

Практичне відпрацювання та виконання всіх етапів побудови імітаційної моделі. Аналіз і постановка задачі. Розробка функціональної схеми роботи моделі. Розробка алгоритмічної схеми моделі. Обґрунтування обраного ПЗ. Опис процесу створення моделі. Опис використовуваних компонентів для моделювання. Побудова подієвої частини моделі. Організація модельного часу. Виділення сегментів моделі і їх розміщення по областях перегляду. Організація виведення результатів моделювання. Відображення підсумкової моделі. Відображення роботи моделі. Проведення комп'ютерних експериментів з

моделлю. Аналіз результатів моделювання.

Кількість годин на тему – 60, з них лекції – 0, практичні заняття – 16, самостійна робота – 44.

#### **4. Індивідуальні завдання**

Виконання курсової роботи за темою «Комплексне моделювання системи з використанням імітаційного моделювання в ПП AnyLogic» за індивідуальною тематикою.

#### **5. Методи навчання**

Проведення аудиторних лекцій, лабораторних та практичних занять, індивідуальних консультацій, самостійна робота студентів за матеріалами, опублікованими кафедрою (методичні посібники).

#### **6. Методи контролю**

Проведення поточного контролю у вигляді тестів, усної здачі лабораторних робіт, письмового модульного контролю, фінальний контроль у вигляді іспиту (проводиться у разі відмови студента від балів поточного тестування та за наявності допуску). Захист курсової роботи (диф. залік).

#### **7. Критерії оцінювання та розподіл балів, які отримують студенти**

7.1. Розподіл балів, які отримують студенти (кількісні критерії оцінювання)

| <b>Складові навчальної роботи</b> | <b>Бали за одне заняття (завдання)</b> | <b>Кількість занять (завдань)</b> | <b>Сумарна кількість балів</b> |
|-----------------------------------|----------------------------------------|-----------------------------------|--------------------------------|
| <b>Семестр 1</b>                  |                                        |                                   |                                |
| <b>Змістовний модуль 1</b>        |                                        |                                   |                                |
| Робота на лекціях                 | 0...1                                  | 3                                 | 0...3                          |
|                                   |                                        |                                   |                                |
| <b>Змістовний модуль 2</b>        |                                        |                                   |                                |
| Робота на лекціях                 | 0...1                                  | 5                                 | 0...5                          |
| Модульний контроль                | 0...30                                 | 1                                 | 0...30                         |
| Робота на лабораторних заняттях   | 0...2                                  | 7                                 | 0...14                         |
| <b>Змістовний модуль 3</b>        |                                        |                                   |                                |
| Робота на лекціях                 | 0...1                                  | 8                                 | 0...8                          |
| Модульний контроль                | 0...30                                 | 1                                 | 0...30                         |
| Робота на лабораторних заняттях   | 0...2                                  | 7                                 | 0...14                         |
| Усього за семестр                 |                                        |                                   | 104                            |
| <b>Змістовний модуль 4</b>        |                                        |                                   |                                |
| Робота на практичних заняттях     | 0...2                                  | 8                                 | 16                             |
| Захист курсової роботи            | 0...100                                | 1                                 | 0...100                        |
| Усього за семестр                 |                                        |                                   | 0...116                        |

**(\*) Якщо кількість модульних балів у студента перевищує 100, то в якості підсумкової оцінки виставляється 100 балів.**

Семестровий контроль (іспит/залік) проводиться у разі відмови студента від балів поточного тестування й за наявності допуску до іспиту/заліку. Під час складання семестрового іспиту/заліку студент має можливість отримати максимум 100 балів.

Білет для іспиту складається з двох теоретичних питань та двох практичних питань. Максимальна кількість балів за кожне питання в білеті складає 25 балів. Практичні питання виконуються без використання електронних таблиць.

Типова курсова робота з курсу складається з таких розділів.

1. Перший розділ, в якому наведено бібліографічний огляд наукових публікацій за темою роботи з їх аналізом, на основі якого формулюються задачі дослідження, дається постановка ключової задачі.

2. Другий розділ, в якому проводиться вивчення об'єкту дослідження з точки зору системного аналізу. Для цього виявляються його системні властивості:

3. Третій розділ, присвячений комп'ютерному моделюванню об'єкта дослідження.

4. Висновків по роботі, в яких, в першу чергу, акценти ставляться на якісних результатах роботи.

Оцінка роботи в 100-бальній шкалі складається з двох частин:

- результат роботи, наведений у записці;
- оцінка за захист курсової роботи.

Результат роботи оцінюється від 70 балів. При цьому за розділами результати розподілені так: 15-20-30-5

При виставленні балів за роботу основними критеріями є наукова новизна і (або) практична цінність результатів. Під їх впливом окремі розділи роботи і бали за них можуть змінюватися.

Захист курсової роботи оцінюється від 30 балів.

Розподіл балів:

- доповідь (15);
- відповіді на запитання (15).

## 7.2. Якісні критерії оцінювання

Необхідний обсяг знань для одержання позитивної оцінки:

**знати:**

- основні поняття теорії систем; класифікацію систем; ознаки складних систем;
- основні типи структур систем; типи ієрархічних систем;
- означення моделі та моделювання; класифікацію моделей;
- основні підходи до моделювання систем; етапи моделювання;
- типи моделей складних систем;
- сутність імітаційного моделювання; етапи створення імітаційної моделі;
- основні парадигми побудови імітаційних моделей;
- концепцію і структуру моделі системної динаміки;
- концепцію дискретно-подійне моделювання;
- концепцію мультіагентного моделювання;
- основні принципи об'єктно-орієнтованого моделювання;
- уніфіковану мову моделювання UML;

- сутність структурно-агрегатного моделювання;
- принципи нечіткого моделювання, моделі Мамдані, Такагі-Сугено;
- модель лінійної регресії;
- метод найменших квадратів для ідентифікації параметрів моделі;
- означення абстрактного типу даних та його моделі;
- загальні принципи моделювання фізичних полів суцільних середовищ.

Необхідний обсяг умінь для одержання позитивної оцінки:

**уміти:**

- класифікувати системи, визначати її структуру і властивості;
- класифікувати моделі;
- виконувати основні етапи моделювання;
- будувати імітаційну модель та перевіряти її адекватність;
- планувати модельний експеримент;
- застосовувати мову UML для побудови структури об'єктно-орієнтованих, агрегатних, нечітких, інформаційних моделей;
- користуватися пакетом AnyLogic для побудови імітаційних моделей;
- проводити ідентифікацію параметрів регресійної моделі;
- застосовувати математичні методи до моделювання фізичних полів;

### **7.3 Критерії оцінювання роботи студента протягом семестру**

**Задовільно (60-74).** Показати мінімум знань та умінь. Захистити всі індивідуальні завдання. Знаходити передаточні функції, перехідні функції, імпульсні перехідні функції. Застосовувати методи класичного варіаційного числення в задачах оптимального програмного керування. Відповіді студента розкривають суть питань без достатньої повноти і обґрунтування, або у відповідях є неправильне тлумачення окремих понять та неточність у формулюванні відповідних термінів.

**Добре (75-89).** Твердо знати матеріал, захистити всі індивідуальні завдання. Розв'язувати задачі аналізу та синтезу. Знаходити передаточні функції, перехідні функції, імпульсні перехідні функції з'єднань. Застосовувати методи класичного варіаційного числення та принцип максимуму Понтрягіна в задачах оптимального керування. Вміти розв'язувати рівняння Беллмана. У відповідях студента можуть допускатися окремі помилки непринципового характеру, які не впливають на розкриття суті теоретичних питань. Завдання в цілому виконуються без помилок, але в обґрунтуванні розв'язання є певні недоліки.

**Відмінно (90-100).** Здати всі контрольні точки з оцінкою «відмінно». Досконально знати всі теми та уміти застосовувати їх.

Протягом семестру студент отримує бали за накопичувальною системою згідно з таблицею наведеною в п. 7.1. Дано деякі пояснення до таблиці.

Робота на лекції – активна форма засвоєння матеріалу курсу: 0,5 бала ставиться за продумані питання, які студент задає лектору, участь в обговоренні предмета лекції, відповіді на питання, які по ходу лекції задає викладач. Активність студента може заохочуватися додатковими коефіцієнтами, які множаться на 0,5 бала.

Робота на практичному занятті оцінюється так: 2 бали за самостійно розв'язану задачу або за обґрунтовану відповідь на теоретичне питання з доведенням основних положень; 1 бал за розв'язану задачу за допомогою викладача.

Самостійна робота – 1 бал ставиться студенту за виконання домашнього завдання разом з його захистом.

Індивідуальне завдання включає виконання та захист розрахункової роботи за темами, зазначеними в назві роботи.

Модульний контроль проводиться на 8 і 16 тижнях на лабораторних заняттях.

### **Шкала оцінювання: бальна і традиційна**

| Сума балів | Оцінка за традиційною шкалою  |               |
|------------|-------------------------------|---------------|
|            | Іспит, диференційований залік | Залік         |
| 90 – 100   | Відмінно                      | Зараховано    |
| 75 – 89    | Добре                         |               |
| 60 – 74    | Задовільно                    |               |
| 0 – 59     | Незадовільно                  | Не зараховано |

### **8. Методичне забезпечення**

**Підручники, навчальні посібники, які видані в Університеті:**

1. Бахмет Г.К., Бахмет А.Г., Ніколаєв О.Г. та ін. Методика виконання курсових робіт: навч. посібник.– Харків: ХАІ, 2016.
2. Ніколаєв О.Г., Кузніченко В.М. Моделювання складних систем [рукопис]: електронний навч. посібник.– Харків: ХАІ, 2020.

**Електронний ресурс, на якому розміщено навчально-методичний комплекс дисципліни:** <https://library.khai.edu> . Комплекс включає в себе такі обов'язкові складові:

- робоча програма дисципліни;
- конспект лекцій, підручники (навчальні посібники), в тому числі в електронному вигляді, які за змістом повністю відповідають робочій програмі дисципліни;
- методичні вказівки та рекомендації для виконання розрахункових та практичних робіт, а також рекомендації для самостійної підготовки;
- тематики індивідуальних завдань;
- приклади розв'язування типових задач чи виконання типових завдань;
- питання для контрольних заходів.

### **9. Рекомендована література**

#### **Базова**

1. Бахрушин В.Є. Математичне моделювання. – Запоріжжя: ГУ «ЗІДМУ», 2004.
2. Боровська Т.М. Основи кібернетики та дослідження операцій: Навч.

- посіб./Т.М. Боровська, І.С. Колеснік, В.А. Северілов. – Вінниця:ВДТУ, 2002.
3. Катренко А.В. Системний аналіз об'єктів та процесів комп'ютеризації. Навч. посіб. – Львів, «Новий світ - 2000», 2003.
  4. Томашевський В.М. Моделювання систем. –К.: BNH: 2005.
  5. Boccaro N. Modeling complex system. New York:Springer, 2004.
  6. Olive A. Conceptual Modeling of Information Systems. – Berlin-Heidelberg: Springer-Verlag, 2007.
  7. Woolfson M.M., Pert G.J. An Introduction to Computer Simulation. – N.-Y.: Oxford University Press, 1999.
  8. Heinz St. Mathematical Modeling. - Berlin-Heidelberg: Springer-Verlag, 2011.
  9. Fabien B.C. Analytical System Dynamics. Modeling and Simulation. – N.-Y.: Springer, 2009.
  - 10.Ponniiah D. Data Modeling Fundamentals. – New Jersey: John Wiley & Sons, 2007.
  - 11.Zhang H., Lin D. Fuzzy Modeling and Fuzzy Control. – Boston: Birkhauser, 2006.

#### **Допоміжна**

- 12.Буч Г., Максимчук Р.А., Энгл М.У. и др. Объектно-ориентированный анализ и проектирование с примерами приложений. – М.: ООО «ИД Вильямс», 2008.
- 13.Карпов Ю. Имитационное моделирование систем. Введение в моделирование с AnyLogic 5. – СПб.: БХВ-Петербург, 2005.
- 14.Лоу А.М., Кельтон В.Д. Имитационное моделирование. – СПб.: Питер, Киев: ВХВ, 2004.
- 15.Рамбо Дж., Блаха М. UML 2.0. Объектно-ориентированное моделирование и разработка. – СПб.: Питер, 2007.
- 16.Леоненков А.В. Самоучитель UML 2. – СПб.: БХВ-Петербург, 2007.
- 17.Колесов Ю.Б. Объектно-ориентированное моделирование сложных динамических систем. – СПб.: СПбГПУ, 2004.
- 18.Пегат А. Нечеткое моделирование и управление. – М.: БИНОМ, 2013.
- 19.Самарский А.А., Михайлов А.П. Математическое моделирование: Идеи. Методы. Примеры. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2005.
- 20.Кудрявцев Е.М. GPSS World. Основы имитационного моделирования различных систем. – М.: ДМК Пресс, 2004.
- 21.Бениаминов Е.М. Алгебраические методы в теории баз данных и представлении знаний. – М.: Научный мир, 2003.
- 22.Згуровский М.З., Панкратова Н.Д. Системный анализ: проблемы, методология, приложения. – К.: Наук. думка, 2005.
- 23.Советов Б.Я., Яковлев С.А. Моделирование систем. – М.: ВШ, 2001.
- 24.Gould H., Tobochnik J., Christian W. An Introduction to Computer Simulation Methods. – N.-Y.: Addison Wesley, 2007.
- 25.Simsion G.C., Witt G.C. Data Modeling Essentials. – San Francisco: Elsevier, 2005.

## **15. Інформаційні ресурси**

**Сайт бібліотеки** Національного аерокосмічного університету ім. М.Є. Жуковського «Харківський авіаційний інститут» <https://library.khai.edu>.